

เบญจมาศ ศรีสองเมือง : สเปกโทรสโกปีการทะลุผ่านของรอยต่อระหว่างตัวนำยวดยิ่งกับ  
แก๊สอิเล็กตรอนสองมิติที่มีคู่ควบของสปินและออร์บิตแบบรัชบา (TUNNELING  
SPECTROSCOPY OF SUPERCONDUCTOR/TWO-DIMENSIONAL ELECTRON  
GAS WITH RASHBA SPIN-ORBIT COUPLING JUNCTIONS)  
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.พวงรัตน์ ไพเราะ, 111 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับสเปกโทรสโกปีการทะลุผ่านของรอยต่อ 3  
แบบ ของแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติที่มีคู่ควบของสปินและออร์บิตแบบรัชบา ได้แก่ รอยต่อกับโลหะ  
รอยต่อกับตัวนำยวดยิ่งแบบ-เอส-เวฟ และรอยต่อกับตัวนำยวดยิ่งแบบ-ดี-เวฟ วิธีการกระเจิงถูก  
นำมาใช้ในการคำนวณความน่าจะเป็นของการสะท้อนกลับและการส่งผ่านในรอยต่อ ซึ่งค่าความ  
น่าจะเป็นดังกล่าวถูกนำไปคำนวณหาค่าสภาพนำไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของความต่างศักย์ที่อุณหภูมิ  
ศูนย์องศาสัมบูรณ์ ในรอยต่อระหว่างแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติกับโลหะพบว่าสภาพนำไฟฟ้าของ  
อิเล็กตรอนสปินอัพและของอิเล็กตรอนสปินดาวน์มีความแตกต่างกัน ความแตกต่างดังกล่าวสูงสุด  
ที่พลังงานเท่ากับจุดตัดกันของแถบพลังงานทั้งสองของแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติ สเปกตรัมสภาพนำ  
ไฟฟ้ามีลักษณะเด่นที่สังเกตได้ 2 ลักษณะ ซึ่งระยะห่างระหว่างสองลักษณะนี้มีขนาดเท่ากับขนาด  
ของพลังงานรัชบา

ในรอยต่อระหว่างแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติกับตัวนำยวดยิ่งแบบ-เอส-เวฟ พบว่าผลของ  
คู่ควบของสปินและออร์บิตแบบรัชบาต่อสเปกตรัมสภาพนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับระดับพลังงานเฟอร์มี  
ของแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติ เมื่อระดับพลังงานเฟอร์มีสูงกว่าจุดตัดกันของแถบพลังงานของแก๊ส  
อิเล็กตรอนสองมิติ สภาพนำไฟฟ้าของรอยต่อที่พลังงานต่ำกว่าช่องว่างพลังงานของตัวนำยวดยิ่ง  
ลดลงเมื่อความแรงของคู่ควบเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ระดับพลังงานเฟอร์มีอยู่ต่ำกว่าหรืออยู่ที่จุดตัดกัน  
ของแถบพลังงานของแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติ การเพิ่มความแรงของคู่ควบสามารถเพิ่มสภาพนำ  
ไฟฟ้าของรอยต่อได้ถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่ง แต่หลังจากนั้นการเพิ่มความแรงของคู่ควบจะทำให้  
สภาพนำไฟฟ้าลดลง ในทุกกรณีของระดับพลังงานเฟอร์มีของแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติ พบว่ายอด  
สูงสุดของสภาพนำไฟฟ้าที่พลังงานเท่ากับช่องว่างพลังงานของตัวนำยวดยิ่ง เพิ่มขึ้นตามความแรง  
ของคู่ควบและไม่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของค่าแรงแผ่กักขังของรอยต่อ

ผลของความแตกต่างกันของมวลยังผลของอิเล็กตรอนต่อสภาพนำไฟฟ้า มีความแตกต่าง  
กันตามระดับพลังงานเฟอร์มีของแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติ กล่าวคือ เมื่อระดับพลังงานเฟอร์มีอยู่สูง  
กว่าจุดตัดกันของแถบพลังงานในแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติ ผลของความแตกต่างระหว่างมวลยังผล  
ของอิเล็กตรอนต่อสภาพนำไฟฟ้าทั้งที่พลังงานต่ำกว่าและสูงกว่าช่องว่างพลังงานในตัวนำยวดยิ่ง  
เทียบเท่ากับผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดของค่าแรงแผ่กักขังตรงรอยต่อ กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของทั้ง

ความแตกต่างของมวลยังผลและกำแพงศักย์ ทำให้สภาพนำไฟฟ้าลดลง อย่างไรก็ตามที่พลังงานเท่ากับช่องว่างพลังงาน ผลของความแตกต่างของมวลยังผลกับกำแพงศักย์ของรอยต่อ ไม่ได้เป็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ การเปลี่ยนขนาดของกำแพงศักย์ไม่มีผลต่อสภาพนำไฟฟ้า แต่ความแตกต่างกันของมวลยังผลของอิเล็กตรอนทำให้สภาพนำไฟฟ้าของรอยต่อลดต่ำลง ในกรณีที่ระดับพลังงานเฟอร์มีอยู่ต่ำกว่าหรืออยู่ที่จุดตัดกันของแถบพลังงาน ผลของความแตกต่างของมวลยังผลของอิเล็กตรอนเทียบเท่าได้กับผลของความแรงของกลุ่มควมทั้งที่พลังงานต่ำกว่าและสูงกว่าช่องว่างพลังงานของตัวนำเวดจ์ และเทียบเท่าได้กับการเปลี่ยนขนาดของกำแพงศักย์ตรงรอยต่อที่พลังงานเท่ากับช่องว่างพลังงานของตัวนำเวดจ์

สเปกตรัมสภาพนำไฟฟ้าของรอยต่อของแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติกับตัวนำเวดจ์แบบ-ดี-เวฟ มีการเปลี่ยนแปลงตามการวางตัวของผิวรอยต่อ ในกรณีที่ผิวรอยต่อวางตัวแบบ {100} พบลักษณะเด่นเพิ่มที่พลังงานต่ำกว่าจุดสูงสุดของช่องว่างพลังงานของตัวนำเวดจ์ ซึ่งตำแหน่งที่พบลักษณะเด่นนี้เปลี่ยนแปลงตามขนาดความแรงของกลุ่มควมของสปีนและออร์บิท ลักษณะเด่นดังกล่าวพบเฉพาะในรอยต่อที่มีความโปร่งเท่านั้น สำหรับกรณีผิวรอยต่อวางตัวเบี่ยงเบนไปจากแบบ {100} สเปกตรัมสภาพนำไฟฟ้าประกอบด้วยยอดสูงสุดที่ความต่างศักย์เป็นศูนย์ และยอดสูงสุดที่พลังงานเท่ากับช่องว่างพลังงานของตัวนำเวดจ์ในทิศทางตั้งฉากกับผิวรอยต่อ

ยอดสูงสุดที่ความต่างศักย์เป็นศูนย์เพิ่มขึ้นตามความแรงของกลุ่มควมของสปีนและออร์บิทในรอยต่อที่โปร่งในทุกระดับพลังงานเฟอร์มี สำหรับรอยต่อที่มีกำแพงศักย์สูง ยอดสูงสุดที่ความต่างศักย์เป็นศูนย์ลดลงเมื่อเพิ่มความแรงของกลุ่มควมในกรณีที่ระดับพลังงานเฟอร์มีอยู่สูงกว่าจุดตัดกันของแถบพลังงานทั้งสองของแก๊สอิเล็กตรอนสองมิติ แต่เมื่อระดับพลังงานเฟอร์มีอยู่ที่จุดตัดกันของแถบพลังงาน พบว่ายอดสูงสุดที่ความต่างศักย์เป็นศูนย์ลดลงจนถึงค่าวิกฤติค่าหนึ่งของความแรงกลุ่มควม หลังจากนั้นยอดสูงสุดที่ความต่างศักย์เป็นศูนย์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความแรงของกลุ่มควม

BENJAMAT SRISONGMUANG : TUNNELING SPECTROSCOPY OF  
SUPERCONDUCTOR/TWO-DIMENSIONAL ELECTRON GAS WITH  
RASHBA SPIN-ORBIT COUPLING JUNCTIONS. THESIS ADVISOR :  
ASSOC. PROF. PUANGRATANA PAIROR, Ph.D. 111 PP.

TUNNELING SPECTROSCOPY OF SUPERCONDUCTOR/TWO-DIMENSIONAL  
ELECTRON GAS WITH RASHBA SPIN-ORBIT COUPLING JUNCTIONS

In this thesis, the conductance spectra of 3 types of junctions containing two-dimensional electron gas (2DEG) with Rashba spin-orbit coupling (RSOC): 2DEG/metal (2DEG/M), 2DEG/s-wave superconductor (2DEG/S), 2DEG/ $d_{a^2-b^2}$ -wave superconductor (2DEG/D) are theoretically studied. The scattering method is applied to obtain reflection and transmission probabilities, which are used to obtain the zero-temperature conductance spectrum. In 2DEG/M junction, there is a difference between the conductance of electron with up spin and that of with down spin. This difference is maximum at the voltage corresponding to the crossing of the two energy branches of 2DEG. The total conductance of 2DEG/M junction contains 2 distinguished features, the distance between which is equal to the Rashba energy.

In 2DEG/S junction, the effect of RSOC is different for different Fermi levels of 2DEG. When the Fermi level lies above the crossing between the two energy branches of 2DEG, the conductance below the energy gap is suppressed with increasing RSOC strength. When the Fermi level is located at or below the crossing, increasing RSOC strength enhances the conductance below the energy gap up to a critical value, but suppresses the conductance beyond this value. In all cases of the

Fermi levels, the conductance at the energy gap is increased with the RSOC strength, but is unaffected by the change in the potential barrier

The effect of the difference in effective masses on the conductance is also different for different Fermi levels of 2DEG. When the Fermi level lies above the crossing, the effect of mismatch of effective mass is equivalent to that of potential barrier for applied voltage both below and above the energy gap, i.e., they both suppresses the conductance. However, at the energy gap, the mismatch and the barrier affect the conductance in a different way, i.e, the conductance is unaffected by the barrier but is suppressed by the mismatch. When Fermi level is located at or below the crossing, the effect of the mismatch is also equivalent to that of RSOC for applied voltage both below and above the gap, but at the energy gap the effect of the mismatch is the same as that of barrier.

In 2DEG/D junction, the conductance spectrum of  $\{100\}$  junction is found to contain an additional feature at energy less than the maximum gap. This feature depends strongly on the RSOC strength and only appear when the junction is in the Andreev limit. For junction away from  $\{100\}$  orientation, the conductance spectrum contains a zero-bias conductance peak (ZBCP) and a peak at the energy equal to the superconducting gap along the direction of the interface normal.

In Andreev limit, ZBCP is enhanced by the RSOC for all Fermi levels. In tunneling limit, ZBCP is suppressed when Fermi level lies above the crossing, but when it is at the crossing, ZBCP is decreased with the RSOC strength up to a critical value of RSOC, but it is increased after this value.

School of Physics

Academic Year 2007

Student's Signature Benjamat Srisongmuang

Advisor's Signature Prayada Pan